

Системы телекоммуникации, связи и защиты информации

УДК 621.371: 621.372: 621.315.1.052.63

С.А. Заблоцкий, канд. техн. наук, **А.Г. Лашко**, канд. техн. наук,

Л.М. Ляховецкий, канд. техн. наук, **О.К. Яневич**

ДП «Одеський науково-дослідний інститут зв'язку», вул. Буніна, 23, м. Одеса, 65026, Україна.

Дослідження залежності інтерференційних завад у системах широкосмугового доступу по мережі електропроводки від довжини лінії

Дана стаття присвячена дослідженню інтерференційних завад в СП (системі передачі) ВРЛ, які виникають при роботі по вітчизняним мережам електропроводки. Наведені і проаналізовані результати розрахунків залежності інтерференційних завад в СП ВРЛ від довжини проводу типу ППВ, а також від моменту часу початку обробки сигналу в приймачі. Бібл. 4., рис. 6.

Ключові слова: *широкосмуговий доступ по лініям електроживлення; система передавання; передавання даних; мережа будинкової електропроводки.*

Вступ

Останнім часом широке розповсюдження отримали системи, що використовують для передавання множини ортогональних гармонічних сигналів (ОГС). Цей успіх пов'язаний з тим, що методу передавання ОГС притаманна висока ефективність роботи по каналам зв'язку, які характеризуються швидко змінними в часі та ненормованими частотними характеристиками (параметрами) [1].

Однією із новітніх технологій широкосмугового доступу до мережі Інтернет, в основі якої лежить метод передавання ОГС, є технологія ВРЛ. Використовуючи в якості середовища передавання проводу внутрішньобудинкової або внутрішньоквартирної електромережі, вона здатна забезпечити високу швидкість передавання даних [3].

Одним з основних факторів, що обмежує швидкість передавання в системах передачі ОГС (СП ОГС), а отже і в системах передачі ВРЛ (СП ВРЛ), є інтерференційні завади, обумовлені порушенням ортогональності несучих сигналів внаслідок лінійних спотворень у каналах зв'язку[1].

Одним з питань, не освітлених у науково-технічній літературі, є залежність інтерференційних завад у СП ВРЛ від довжини проводу типу ППВ, що широко використовується в Україні для побудови мереж електропроводки. Дослідженню цієї залежності і присвячена дана стаття.

Основна частина

Розрахунок інтерференційних завад в СП ОГС виконано за допомогою методики, що наведена нижче [1].

Інтерференційну заваду визначають як відсоткове відношення ефективних значень завади і сигналу:

$$h_l = \sqrt{\frac{\bar{\varepsilon}_l^2}{\bar{s}_l^2}} \cdot 100 \%, \quad l = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

де $\bar{\varepsilon}_l^2$ – середня потужність інтерференційної завади; \bar{s}_l^2 – потужність сигналу на вході приймача СП ОГС; $l = 1, 2, \dots, n$ – номер каналу СП ОГС.

Потужність інтерференційної завади визначають за формулою:

$$\bar{\varepsilon}_l^2 = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{q=0}^{N-1} \mu_{kq} \cos \left[\frac{2\pi(l+m-1)(k-q)}{N} \right], \quad (2)$$

$l = 1, 2, \dots, N,$

де k, q – цілі, невід'ємні числа, що змінюються від 0 до $N-1$; N – кількість відліків групового сигналу на інтервалі ортогональності; $\mu_{k,q}$ – квадратна матриця розміром $N \times N$; m – номер першої з використовуваних несучих частот.

Матриця μ_{kq} розраховується за формулою:

$$\mu_{kq} = \begin{cases} 2 \sum_{i=k+k_T+1}^{R-1} \sum_{j=q+k_T+1}^{R-1} g_i g_j B_{k+j-q-i}, & k \leq R-2-k_T, \quad q \leq R-2-k_T, \\ 2 \sum_{i=0}^{k+k_T-N-L} \sum_{j=0}^{q+k_T-N-L} g_i g_j B_{k+j-q-i}, & k \geq N+L-k_T, \quad q \geq N+L-k_T, \\ \sum_{i=k+k_T+1}^{R-1} \sum_{j=0}^{k+k_T-N-L} g_i g_j B_{2N+k+j-q-i}, & k \leq R-2-k_T, \quad q \geq N+L-k_T, \\ \sum_{i=0}^{k+k_T-N-L} \sum_{j=q+k_T+1}^{R-1} g_i g_j B_{2N+q+i-k-j}, & q \leq R-2-k_T, \quad k \geq N+L-k_T, \\ 0, & \text{за інших } k \text{ і } q, \end{cases} \quad (3)$$

де g_i, g_j – значення відліків імпульсної реакції каналу зв'язку; R – кількість відліків імпульсної реакції каналу зв'язку; L – кількість відліків групового сигналу на захисному інтервалі; k_T – номер відліку групового сигналу, з якого починається його оброблення в приймачі,

$$B_x = \sum_{l=1}^n \sigma_l^2 \cos(\pi \cdot x \cdot \frac{l}{n}), \quad (4)$$

де σ_l – дисперсія інформаційних параметрів a_l і b_l , що модулюють гармонічні несучі.

Потужність корисного сигналу на виході кожного l -го каналу модему прямо пропорційна квадрату модуля передатної функції каналу зв'язку на відповідній частоті:

$$\bar{S}_l^2 = N^2 \sigma_l^2 \left| \sum_{r=0}^{R-1} g_r e^{-i \frac{2\pi(l+m-1)r}{N}} \right|^2, \quad (5)$$

$l = 1, 2, \dots, N,$

де r – ціле, невід'ємне число, що змінюється від 0 до $R-1$; g_r – значення r -го відліку імпульсної реакції каналу зв'язку.

Результати досліджень інтерференційних завад у СП ВРЛ при роботі по проводу типу ППВ

За наведеною вище методикою авторами було проведено розрахунки співвідношення h ефективних значень інтерференційних завад і сигналу на вході приймача СП ВРЛ при роботі по однорідній лінії, утвореній двожилиним проводом типу ППВ з площею поперечного перетину струмопровідних жил 2,5 мм².

Розрахунки проводилися для наступних вихідних даних:

- кількість інформаційних каналів $n=235$;
- номер першого інформаційного каналу $m=21$;

- кількість відліків на інтервалі ортогональності $N=512$;
- кількість відліків на захисному інтервалі $L=32$;
- частотний план 25 МГц-РВ [4], що передбачає діапазон частот передавання від 2 до 25 МГц;
- маска спектральної густини потужності (СГП) на виході передавача системи ВРЛ [4];
- довжина проводу типу ППВ з площею поперечного перетину струмопровідних жил 2,5 мм²: 50 м; 100 м; 200 м; 300 м; 400 м; 500 м;
- дискретні імпульсні реакції двожилиного проводу типу ППВ з площею поперечного перетину струмопровідних жил 2,5 мм² довжиною 50 м; 100 м; 200 м; 300 м; 400 м; 500 м (рис. 1).

Довжина проводу типу ППВ обрана в діапазоні від 50 до 500 м у зв'язку тим, що в даній роботі досліджується залежність інтерференційних завад від довжини проводу для внутрішньобудинкової і внутрішньоквартирної електромереж, розміри яких визначаються реальними розмірами будівель, які, як правило, знаходяться у межах цього діапазону.

Кількість інформаційних каналів, номер першого інформаційного каналу і діапазон частот передавання обрано згідно з [2], де обґрунтовано використання саме таких вихідних параметрів.

Результати розрахунку інтерференційних завад, що виникають при роботі СП ВРЛ із розглядуваними вихідними даними, для проводів типу ППВ з площею поперечного перетину струмопровідних жил 2,5 мм² із зазначеними довжинами наведено на рис. 2 – 3.

Проаналізувавши графіки, наведені на рис.2–3, можна дійти висновку, що при збільшенні довжини проводу зростає h . Це

пояснюється ростом лінійних спотворень сигналу зі збільшенням довжини проводу.

Інтерес також представляє залежність h від номеру відліку початку оброблення сигналу у приймачі k_T .

Характерною рисою усіх графіків, наведених на рис. 2 – 3 є «провал», який спостерігається за певних значень k_T . При цьому зі збільшенням довжини проводу діапазон значень k_T , за яких h набуває мінімальних значень, зміщується в сторону зростання. Це пов'язано із ростом затримки сигналів зі збільшенням довжини проводу, що виявляється у зсуві «піку» імпульсної реакції (рис. 1) у напрямку зростання номеру відліку імпульсної реакції.

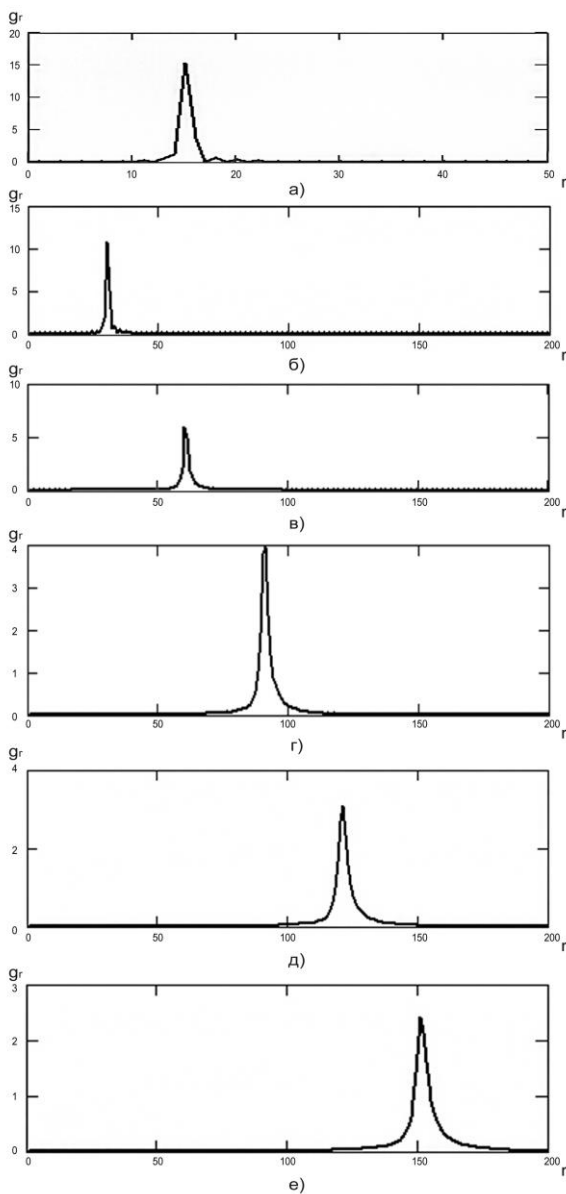


Рис. 1. Графічні зображення дискретної імпульсної реакції $g(r)$ проводу типу ППВ 2×2,5 довжиною: а) 50 м; б) 100 м; в) 200 м; г) 300 м; д) 400 м е) 500 м

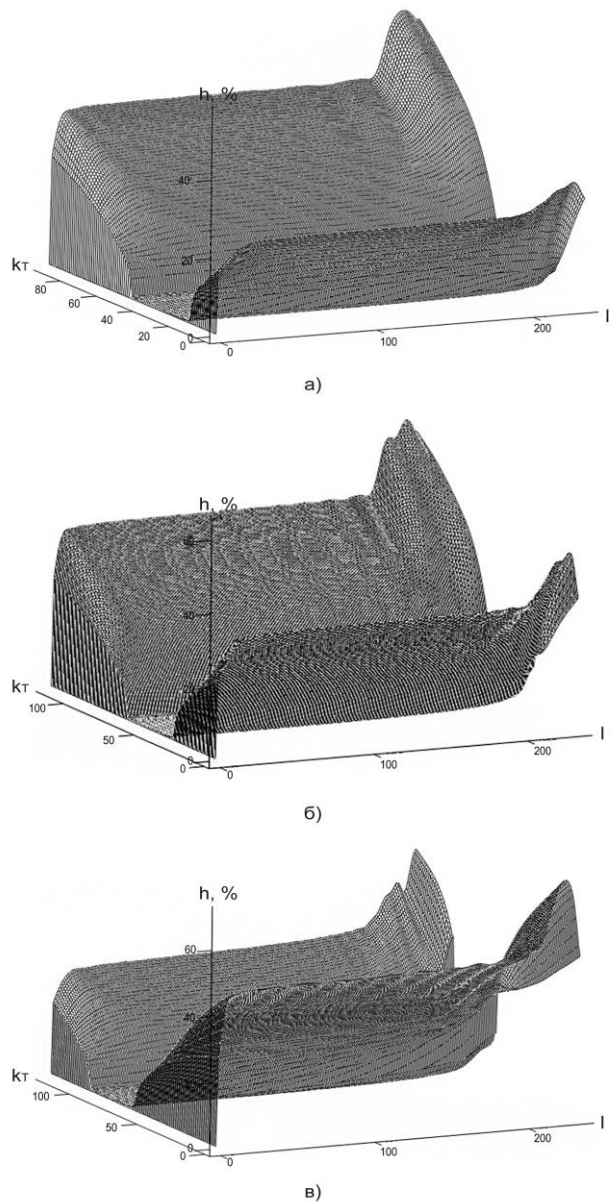


Рис. 2. Графічні зображення залежності співвідношення h від l і k_T : а) провід ППВ 2×2,5 довжиною 50 м, $n=235$, $m=21$; б) провід ППВ 2×2,5 довжиною 100 м, $n=235$, $m=21$; в) провід ППВ 2×2,5 довжиною 200 м, $n=235$, $m=21$

Визначимо оптимальне значення k_T для довільного значення $l = 30$ для довжини проводу 300 м, за якого h набуває мінімального значення. Згідно з розрахунками, оптимальним є значення $k_T = 111$. Визначимо оптимальне значення k_T для того ж проводу для $l = 200$. За таких вихідних даних оптимальне значення $k_T = 106$. Результати розрахунків залежності h від k_T наведені у вигляді графіків на рис. 4.

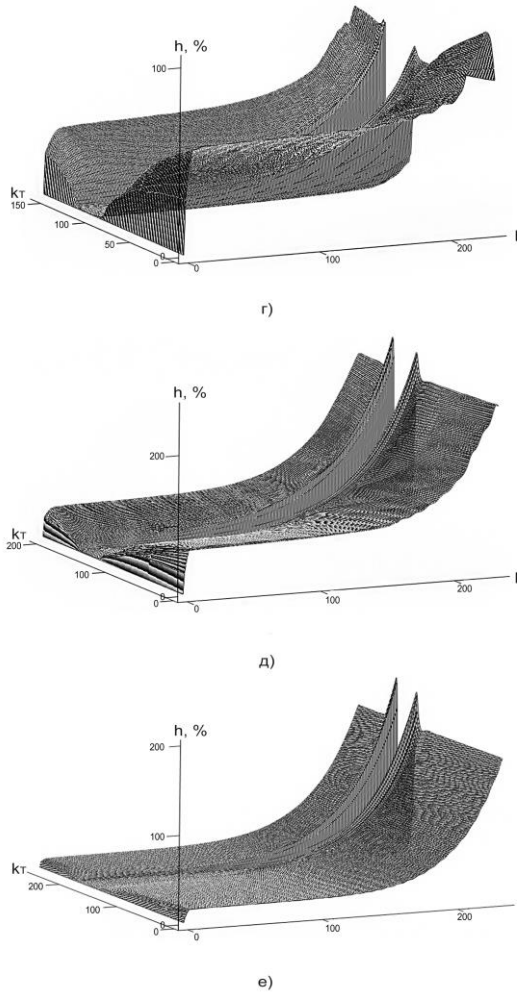


Рис. 3. Графічні зображення залежності співвідношення h від l і k_T : а) провід ППВ 2×2,5 довжиною 300 м, $n=235$, $m=21$; б) провід ППВ 2×2,5 довжиною 400 м, $n=235$, $m=21$; в) провід ППВ 2×2,5 довжиною 500 м, $n=235$, $m=21$

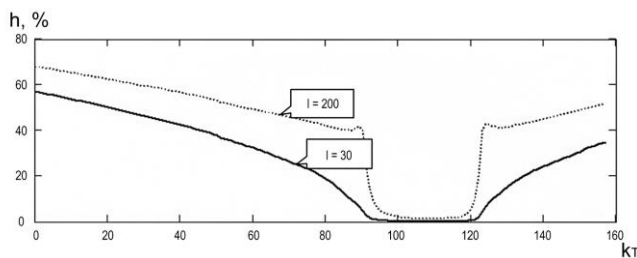


Рис. 4. Графічне зображення залежності h від k_T для $l=30$ і $l=200$ (провід ППВ 2×2,5 довжиною 300 м, $n=235$, $m=21$)

Виходячи з отриманих в ході розрахунків результатів, можна зробити висновок, що для різних інформаційних каналів СП ВРЛ оптимальне значення k_T може бути різним.

Оскільки у СП ОГС використовується одне і те саме значення k_T для всіх інформаційних каналів, то постає питання формування критерію оптимальності спільного для всіх інформаційних каналів значення k_T . Очевидно, таким критерієм може бути мінімізація середньоарифметичного значення h по всіх каналах СП ОГС (\tilde{h}):

$$\min_{k_T} \frac{\sum_{l=m}^n h_{l,k_T}}{n}, \quad (6)$$

де h_{l,k_T} – відсоткове співвідношення ефективних значень інтерференційних завад і сигналу на вході приймача СП ОГС у l -му каналі при номері відліку початку оброблення сигналу у приймачі k_T . Для визначення оптимального значення k_T за сформульованим критерієм для розглядуваного варіанту СП ВРЛ при довжині проводу типу ППВ з площею поперечного перетину струмопровідних жил 2,5 мм² довжиною 300 м побудуємо графік залежності $\tilde{h}(k_T)$ від k_T (рис. 5).

$$\tilde{h}(k_T) = \frac{\sum_{l=m}^n h_{l,k_T}}{n}. \quad (7)$$

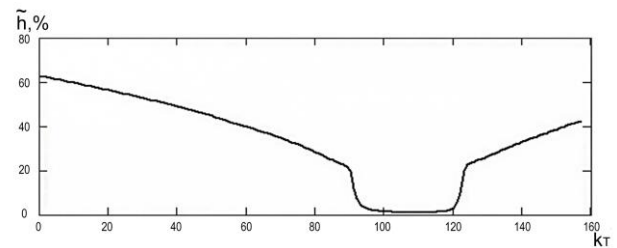


Рис. 5. Графічне зображення залежності середньоарифметичного значення h від k_T (провід ППВ 2×2,5 довжиною 300 м, $n=235$, $m=21$)

Згідно з розрахунками, проведеними для зазначених вихідних даних, оптимальне значення $k_T=107$.

Проілюструємо важливість вибору оптимального значення k_T , за яких h набуває мінімальних значень, за допомогою графіків залежності h від номеру інформаційного каналу l , побудованими за різних значень k_T (рис. 6).

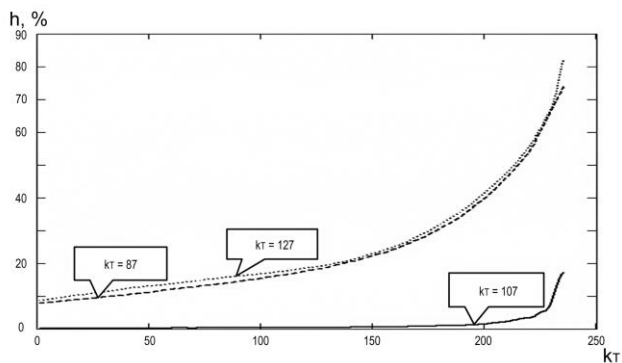


Рис. 6. Графічне зображення залежності h від k_T для $k_T = 87, 107$ і 127 (провід ППВ $2 \times 2,5$ довжиною 300 м, $n = 235$, $m = 21$)

Очевидно, що при оптимальному k_T , яке дорівнює 107 , значення співвідношення h є меншими приблизно у 10 разів порівняно зі значеннями h при $k_T = 87$ і $k_T = 127$.

Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено, що:

- Співвідношення h ефективних значень інтерференційних завад і сигналу на вході приймача СП ВРЛ при роботі по однорідній лінії, утвореній двожильним проводом типу ППВ з площею поперечного перетину струмопровідних жил $2,5$ мм², зростає зі збільшенням довжини лінії. Це можна пояснити лінійними спотвореннями сигналу.
- Співвідношення h ефективних значень інтерференційних завад і сигналу на вході приймача СП ВРЛ при роботі по однорідній лінії, утвореній двожильним проводом типу ППВ з площею поперечного перетину струмопровідних жил $2,5$ мм², залежить від номеру відліку початку оброблення сигналу у приймачі k_T . Розрахунки вказують на те, що за умови вибору оптимального k_T значення

співвідношення h може бути меншим приблизно у десятки разів, ніж при неоптимальному k_T .

Список використаних джерел

1. Балашов В.А., Воробийенко П.П., Ляховецький Л.М. Системы передачи ортогональными гармоническими сигналами // Эко-трендз. – М., 2012. – 228 с.
2. Балашов В.О., Ляховецький Л.М., Заблоцький С.А., Карпенко К.М. Дослідження інтерференційних завад у системах широкосмугового доступу ВРЛ по мережі електропроводки // Збірник «Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова». – Одеса, 2013 – №2. – 41-46 с.
3. Моррисі Питер Реализация технологии ВРЛ [Електронний ресурс] / Питер Моррисі // Сети и системы связи: интернет-журнал – 2005. – Режим доступу: http://www.ccc.ru/magazine/depot/05_12/read.html?
4. 0301.htm. – Заголовок з екрану. – Дата доступу: 22.09.2015.
5. ITU-T Recommendation G.9964 Unified high-speed wireline-based home networking transceivers – Power spectral density specification [Electronic resource] / International Telecommunication Union. – грудень, 2011 р. – Режим доступу: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-G.9964-201112-I!!PDF-E&type=items. – Заголовок з екрану. – Дата доступу: 22.09.2015.

Поступила в редакцію 08 декабря 2015 г.

УДК 621.371: 621.372: 621.315.1.052.63

С.А. Заблоцький, канд. техн. наук, А.Г. Лашко, , канд. техн. наук, Л.М. Ляховецький, канд. техн. наук, А.К. Яневич

ГП «Одесский научно-исследовательский институт связи»,
ул. Бунина, 23, г. Одесса, 65026, Украина.

Исследование зависимости интерференционных помех в системах широкополосного доступа по сети электропроводки от длины линии

Данная статья посвящена исследованию интерференционных помех в СП (системе передачи) ВРЛ, возникающих при работе по отечественным сетям электропроводки.

Приведены и проанализированы результаты расчетов зависимости интерференционных помех в СП ВРЛ от длины провода типа ППВ, а также от момента времени начала обработки сигнала в приемнике. Бібл. 4., рис. 6.

Ключевые слова: широкополосный доступ по линиям электропередач; система передачи; передача данных; сеть домашней электропроводки.

UDC 621.371: 621.372: 621.315.1.052.63

S. Zablotskiy, Ph.D., **A. Lashko**, Ph.D., **L. Lyakhovetskiy**, Ph.D., **A. Yanevich**

SE "Odessa scientific research institute of communication",

Bunina str. 23, Odessa, Ukraine, 65026.

Research of dependance of harmful interference in systems of broadband access over electrical wiring network on line length

This article is dedicated to research of harmful interference in BPL TS (transmission system), that appears when TS works on domestic electrical networks. Given and analyzed calculation results of dependance of harmful interference in BPL TS from length of the wire type PPV and from the time moment and the number of start the signal processing in the receiver. References 4, figures 6.

Keywords: broadband over power lines; transmission system; data transmission; home electrical wiring network.

References

1. Balashov, V. A., Vorobienko, P. P., Lyakhovetskiy, L. M. (2012). Systems of transmission by orthogonal harmonic signals. (Eko-trendz, Moskow). P. 228. (Rus)
2. Balashov, V. A., Lyakhovetskiy, L. M., Zablotskiy, S. A., Karpenko, K. M. (2013). Investigation of harmful interference in BPL systems of broadband access on electric wiring network (Digest «ONAC after. O.S. Popov scientific works», No. 2. Pp. 41-46.
3. *Morrisi Piter* (2005). Realization of BPL technology [Electronic resource] / *Morrisi Piter* // Networks and communication systems : internet-magazine. Access mode: http://www.ccc.ru/magazine/depot/05_12/read.html?0301.htm. Title screen. Date of access: 22.09.2015. (Rus)
4. (2015). ITU-T Recommendation G.9964 Unified high-speed wireline-based home networking transceivers – Power spectral density specification [Electronic resource]. International Telecommunication Union. Dec. 2011. Access mode: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-G.9964-201112-!!!PDF-E&type=items. Title screen. Date of access: 22.09.2015.